한국태양에너지학회
VOL. 32, NO.1, 2012.3.29~30 대구EXCO
춘계학술발표대회 논문집

로봇용 연료전지 이차전지 하이브리드 시스템 개발

권오성*, 이상철**, 이상우***, 이동하****

*대구경북과학기술원(ok235@dgist.ac.kr), **대구경북과학기술원(sclee@dgist.ac.kr),
***대구경북과학기술원(dhlee@dgist.ac.kr)

The study of proton exchange membrane fuel cell and Li-poly battery hybrid system

Kwon, Osung*, Lee, Sang cheol***, Lee, Sang Woo***, Lee, Dong-Ha****

*Division of Robotics System, DGIST(ok235@dgist.ac.kr),
**Division of IT Convergence. DGIST(sclee@dgist.ac.kr),
***Advanced Convergence Research Center, DGIST(swlee77@dgist.ac.kr),
*****Division of Robotics System, DGIST(dhlee@dgist.ac.kr),

Abstract

Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) is the most promising energy source for the robot applications because it has unique advantages such as high energy density, no power drop during operating, and easy to make compact size. However, PEMFC has intrinsic disadvantages which are delay to start up and difficulty to correspond drastic load changes. These disadvantages can be compensated by hybrid operating with a Li-poly battery. This study is focus to build and understand the hybrid system for the robot system. In this study, we build the PEMFC hybrid system using EOS-320 PEMFC stack, Li-poly battery and G-Philos FDX1-250BU dc-dc converter. The hybrid system is accurately monitored by CAN and RS485. The system was studied under two conditions such as non-loaded and loaded operating conditions. The results show that the system has delay to start up without hybrid operating and it can be compensated with the hybrid operating.

Keywords : 연료전지 이차전지 하이브리드 시스템(PEMFC Li-Poly Hybrid System), 고분자 박막 연료전지(PEMFC), 하이브리드(Hybrid), DC/DC 컨버터(DC/DC Convertor)

1. 서 론

적절한 에너지원을 선택하는 것은 로봇구동에 있어서 아주 중요한 요소이다. 로봇은 그 목적(정찰, 재해 감시 등)에 따라 정지, 가속 등의 다양한 형태의 주행을 할 수 있어야 하며 또한 목적에 따른 구동 시간을 만족시켜야 한다. 이러한 이유로 인하여 로봇 구동용 에너지원은 빠른 로봇의 구동과 로봇 구동 시 급격한 부하의 변화를 만족 시켜야 한다.

고분자 연료전지는 화학에너지를 중간의 변환과정 없이 바로 전기적 에너지로 변환하는 장치이다. 이러한 에너지 변환과정은 일반 내연기관에 비해 놓은 에너지 변환 율을 보여준다. 또한 내연기관이나 열기관의 생성물이 CO_2나 환경적으로 유해한 기체인 반면 연료전지의 경우 반응물은 일반적인 H_2O이다. [1-2] 또한 연료전지는 연료(H_2)가 지속적으로 제공되는 한 거의 동일한 성능을 보여준다. 고체인 고분자 박막을 전해질로 사용함으로서 크기나 모양을 원하는 형태로 성형을 할 수 있다. 이러한 연료전지의 장점들은 로봇용 에너지원으로 적합하다는 것을 보여준다. 그러나 연료전지가 가진 여러 장점에도 불구하고 연료전지는 로봇용으로의 응용에 여전히 많은 문제점들을 가지고 있다. 연료전지는 그 구조적인 문제로 인하여 시동 시 부하에 즉각적으로 전력을 제공 할 수 없는 transient 현상을 보이며 또한 급격한 부하의 변화에 대응하기 어렵다. [3]

이러한 연료전지의 단점들은 하이브리드 시스템 구축에 의하여 보완 가능하다. 이러한 이유로 연료전지의 응용에 있어서 하이브리드는 시스템의 구성은 필수적으로 고려되어야 한다. [5]

본 연구에서는 연료전지와 리튬 폴리머 이차전지 그리고 DC/DC 컨버터를 이용하여 로봇용 하이브리드 시스템을 설계 구성하였다. CAN 통신과 RS485 통신을 통해 하이브리드 운전 시 시스템의 각 부분의 변화를 모니터링 하고 하이브리드 시스템 운전을 이해하였다.

2. 로봇구동용 연료전지 & 이차전지 하이브리드 전원시스템

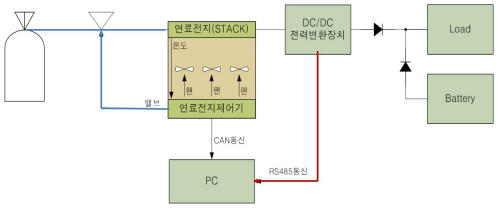

그림1. 로봇구동용 연료전지 & 이차전지 하이브리드 전원시스템의 블록도

2.1 하이브리드 시스템

그림 1은 로봇구동용 연료전지와 리튬 폴리머 하이브리드 시스템의 블록도를 보여준다. 연료전지와 리튬 폴리머 하이브리드 시스템은 크게 세 부분으로 구성 있다.

첫 번째로 시스템의 주전원이 되는 연료전지 stack이 있다. 연료전지 stack은 Pearl Hydrogen 사의 EOS-320이 사용되었다. EOS-320은 약 50%이상의 효율을 보여준다. EOS-320에서 전력은 fuel tank로부터 공급된 H_2와 팬을 통하여 공급된 O_2를 통해 전력을 생산하고 생성된 전력을 DC/DC 컨버터를 통하여 부하로 공급한다. EOS-320 시스템은 O_2의 공급량과 stack 내부의 온도를 팬의 속도를 통하여 제어한다.

두 번째로 이차전지가 있다. 이차전지는 Kokam 사의 Li-poly type이 사용되며 용량은 3600mAh이다.

세 번째로 연료전지 stack 과 리튬 폴리머 배터리로부터 제공된 전력을 부하로 공급하는 DC/DC 컨버터가 있다. DC/DC 컨버터는 각 전원으로부터 제공된 전력을 상황에 따라 조절한다. DC/DC 컨버터의 동작은 RS485를 통해 모니터링 된다. 각 부분의 자세한 사양은 표 1에 기술되어 있다.

Fuel Cell (EOS-320)	DC/DC (FCBCS260)	Battery (리튬폴리머)
정격용량: 320W 정격전압: 24V 정격전류: 14.6A 효율: 50%이상 크기 (mm): 236X84X138 무게: 2760g 동작조건: 외부온도: 5℃-40℃ 상대습도: 10%-95%	정격입력전력: 280W 정격입력전압: 24V 정격입력전류: 11.6A 정격출력전력: 250W 정격출력전압: 23V 정격출력전류: 10.9A 정격효율: 90%이상 크기 (mm): 150X105 무게: 186g	용량: 3600 mAh 정격전압: 22.2V 방전전류: 최대 108A 크기 (mm): 155.5X44X51 무게: 653g

표 1. Specification of PEMFC and Li-poly battery hybrid system

2.2 DC/DC 컨버터

연료전지 이차전지 하이브리드는 로봇이 요구하는 빠른 시동 그리고 급격한 부하의 변화에 부응할 수 있다. 이러한 하이브리드의 핵심은 전력변환이라고 할 수 있다. 빠른 시동을 위해 우선 이차 전지에서 부하로 전력을 공급하여 시동을 하고 정속 운전 중에는 연료전지를 통하여 전력을 공급하고 전력을 소비한 이차전지를 충전하며 큰 부하가 필요 할 경우 연료전지와 이차전지의 전력을 동시에 공급할 수 있 수 있어야 한다. 이러한 전력변환을 만족하기 위해서는 효율적인 DC/DC 컨버터의 제작이 필 수 이다.

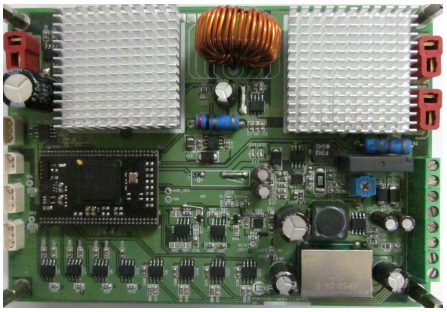

그림2. FCBS260 DC/DC 컨버터

그림 2는 연료전지 이차전지 하이브리드를 위해 개발 된 FCBS260 DC/DC 컨버터를 보여준다. FCBS260은 약 90%의 전력 변환 효율을 보여준다. DC/DC 컨버터의 이상적인 변환 효율은 100%이나 일반적인 컨버터의 전력변환 효율은 75%-95% 사이를 보여준다. 이러한 사실을 고려할 때 FCBS260은 적절한 전력변환 효율을 보여준다.

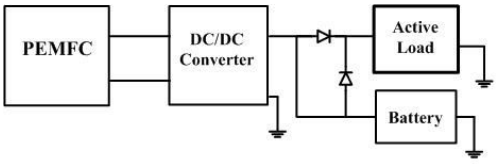

그림 3. 연료전지 이차전지 하이브리드 운전 블록도

그림 3은 PEMFC 이차전지 하이브리드 운전 블록도를 보여준다. DC/DC 컨버터를 통한 연료전지 이차전지 하이브리드 운전은 몇 가지 모드로 이루어 진다. 첫 번째 모드는 빠른 시동을 위한 모드이다. 시동 시 먼저 이차전지를 통하여 DC/DC 컨버터가 동작된다. 그리고 이차전지로 부터의 전력이 부하로 공급 된다. 그 후 연료전지로 부터의 전력이 서서히 DC/DC 컨버터를 통해 부하로 공급이 된다. 연료전지로 부터의 전력이 부하로 공급이 됨과 동시에 배터리로 부터의 전력이 서서히 감소하게 된다. 이러한 운전을 통하여 시스템의 빠른 시동이 이루어진다.

두 번째 모드는 급격한 부하의 변동에 대응하는 모드이다. 정상 상태에서 연료전지의 전력이 DC/DC 컨버터를 통하여 부하로 공급이 된다. 그러나 부하의 급격한 변화로 인하여 순간적으로 큰 전력이 필요할 경우 연료전지 대신 이차전지가 부하로 전력을 공급한다. 이때 연료전지의 출력은 이차전지로 충전된다.

3. 하이브리드 시스템 구동 결과

그림 4는 연료전지 하이브리드 시스템의 시동에 따른 연료전지 출력전류 전압과 부하 전류 전압의 변화이다. 파란색 선과 녹색 선은 각각 부하전압과 부하 전류를 나타낸다. 노란색 선과 빨간 색 선은 각각 연료전지 출력전압과 출력전류를 나타낸다.

시동과 동시 5A의 부하를 시스템에 걸어 주었다. 그 경우 부하전압은 약 0.7V 하강한 후 서서히 22.6V로 변한다. 전압 강하는 다이오드의 저항에 의한 것으로 추정된다. 연료전지의 출력전력(출력전압X출력전류)은 약 40초 동안 117.82W 까지 서서히 증가하다 안정화 된다. 이러한 연료전지 출력전력의 증가는 transient 현상으로 이해 될 수 있다. 부하에서는 다이오드에 의한 전력강하를 제외 한다면 전력이 일정하게 유지 되는 것을 보여준다. 이러한 현상은 시동 후 40초 동안의 전력은 이차전지로부터 DC/DC 컨버터에 의하여 부하에 전력이 제공되고 그 이후 연료전지로부터 부하에 전력이 제공된다. 이러한 결과는 하이브리드 운전에 의하여 연료전지의 시동 시 나타나는 transient 현상이 보상됨을 나타낸다.

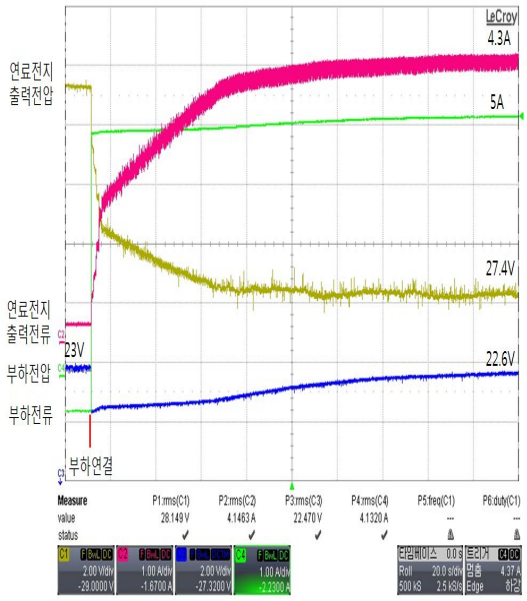

그림 4. 하이브리드 시스템 부하운전

그림 5는 하이브리드 운전 시 부하의 변화에 따른 전압과 전력의 변화를 보여 준다. 붉은 선과 검은 선은 전압과 전력 변화의 경향을 보여주는 guide line 이다. 전압과 전력의 plot은 연료전지와 이차전지의 전류에 따른 변화를 포함한다. DC/DC 컨버터로 제공되는 연료전지의 전압이 부하에 의해 감소하여 약 22V 이하로 떨어질 경우 부하로 제공 되는 전력은 이차전지가 제공한다. 그 결과 0A부터 4A의 까지의 변화는 연료전지로부터 기인하고 5A부터 10A 까지의 변화는 이차전지로부터 기인한다고 볼 수 있다. 전압-전류 그래프에서 5A를 기준으로 5A 이전과 이후의 변화량이 달라짐을 보여준다. 0V 부터 4V까지의 변화량은 5V부터 10V 까지의 변화량보다 약 2배 정도 크다. 이 사실은 이차전지의 전류에 따른 배터리의 전압변화가 상대적으로 작음을 보여준다. 전력-전류 그래프는 부하전류의 증가에 따라 전력이 증가함을 보여준다. 5A 보다 높은 부하에서는 연료전지 대신 이차전지가 부하로 전력을 공급한다. 이러한 하이브리드 운전에 대한 간단한 모델이 그림 6에 나타나 표현되어 있다.

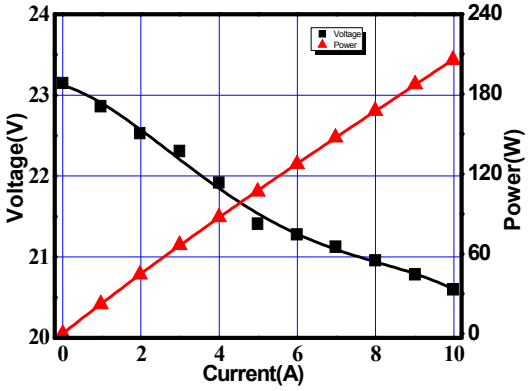

그림 5. 하이브리드 운전 전압-전류와 전력

연료전지만으로 전력을 공급할 경우 부하의 갑작스러운 증가에 대응하지 못하게 된다. 그림 6에서 하늘색으로 표현된 region I은 연료전지가 대응 할 수 있는 구간만을 표시한다. 그러나 이차전지와 하이브리드를 할 경우 연료전지가 대응하지 못하는 구간을 이차전지에서 대응하게 하게 된다. 노란색으로 표현된 region II는 이차전지가 대응하는 구간을 보여준다. 실제 실험으로 얻어진 그림

5의 파워 그래프는 5A를 기준으로 연료전지와 이차전지가 부하의 크기에 따라 선택됨을 보여준다. 이것은 부하의 갑작스러운 변화에 대응하기 어려운 연료전지의 단점이 이차전지와의 하이브리드를 통해 보완됨을 보여준다.

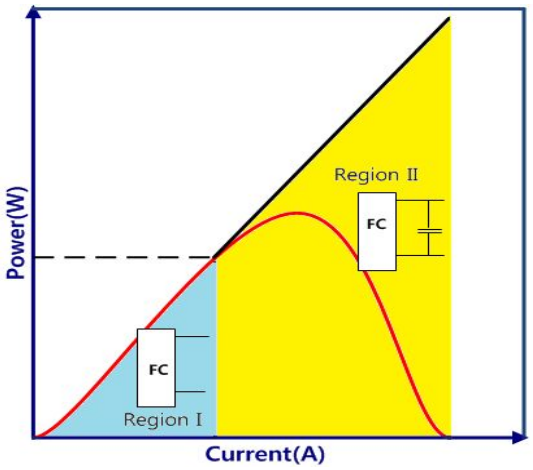

그림 6. 하이브리드 운전 모델

4. 결 론

이 연구에서 연료전지 와 이차전지 하이브리드 시스템을 구축하였다. 또한 하이브리드 시스템을 운전을 위한 고효율 DC/DC 컨버터를 설계 제작하였다. 연료전지 운전 시 문제가 되는 transient 현상이나 불균일한 출력전력에 대한 응답을 DC/DC 컨버터를 통한 운전으로 인하여 개선됨을 보였다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 대구경북과학기술부에서 일반사업에 의해 수행되었습니다(12-BD-0101).

참 고 문 헌

1. Wee, J. H. Applications of proton exchange membrane fuel cell systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, (2007), 1720 1738.
2. Santarelli, M. G., and Torchio, M. F. Experimental analysis of the effects of the operating variables on the performance of a single PEMFC. Energy Conversion and Management 48, (2007), 40 45.
3. Jarvis, L. P., Cygan, P. J., and Roberts, M. P. Fuel CeWLithium Ion Battery Hybrid For Manportable Applications. Battery Conference on Applications and Advances, 2002. The Seventeenth Annual, (2002) 69 72.
4. Fauteux, D., Massucco, A., Mclin, M. van Buren, M., and Shi, J. Lithium polymer electrolyte rechargeable battery. Electrochimica 40, (1995) 2185-2190.
5. Tang, Y., Yuan, W., Pan, M., and Wan, Z. Experimental investigation on the dynamic performance of hybrid PEM fuel cell/battery system for lightweight electric vehicle application. Applied Energy 88, (2011), 68-76.